Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie.

(Aus dem physiologischen Institute der deutschen Universität zu Prag.)

Vierzehnte Mittheilung.

Über das Herz von Helix pomatia.

(Ein Beitrag zur vergleichenden Physiologie der Muskeln.)

Von **Dr. Wilhelm Biedermann,**

Privatdocenten und erstem Assistenten am physiologischen Institute der deutschen Universität zu Prag.

Bereits vor einer längeren Reihe von Jahren machte M. Foster[1] Mittheilung über einige auffallende Erscheinungen an dem Herzen von *Helix pomatia*, ohne jedoch, soviel mir bekannt geworden ist, in der Folge wieder auf diesen Gegenstand zurückzukommen. Durch zufällige eigene Beobachtungen auf jene wenig beachteten Angaben Foster's aufmerksam gemacht, beschloss ich eine eingehendere physiologische Untersuchung des Schneckenherzens, da es nicht unmöglich schien, durch eine solche über gewisse am Wirbelthierherzen beobachtete, hinsichtlich ihrer Deutung aber noch durchaus räthselhafte Erscheinungen näheren Aufschluss zu erhalten. Hat man es doch hier wahrscheinlich mit einem wesentlich einfacher organisirten Gebilde zu thun, als es z. B. das Froschherz darstellt. Foster spricht die Vermuthung aus, dass im Schneckenherzen weder Nervenfasern noch Nervenzellen vorkommen, ein Umstand, der allein schon genügen würde, eine genauere Untersuchung wünschenswerth erscheinen zu lassen. Denn wenn es auch gegenwärtig nicht wohl bezweifelt werden kann, dass rhythmische Bewegungsvorgänge im Bereiche quer-

[1] Pflüger's Arch. Bd. V p. 191. f.

gestreifter oder glatter Musculatur unabhängig von dem Vorhandensein ganglιöser Elemente vorkommen, wie denn auch zahlreiche Untersuchungen übereinstimmend ergeben haben, dass die ganglienfreie „Herzspitze" des Frosches, wenn auch nur unter gewissen, künstlich herbeigeführten Bedingungen rhythmisch pulsirt, so ist doch bisher kein Fall bekannt geworden, wo die normale Herzbewegung mit Sicherheit als unabhängig von nervösen im Herzen selbst gelegenen „Centren" hätte bezeichnet werden können. Es schien mir daher nicht unwichtig, mich durch eigene anatomische Untersuchung zunächst davon zu überzeugen, inwieweit die Vermuthung Foster's hinsichtlich des Fehlens ganglιöser Elemente im Schneckenherzen thatsächlich begründet ist. Ich habe drei Herzen (Vorkammer und Ventrikel) unter Zuhilfenahme der von Weismann angegebenen Isolationsmethode, mit starker (30%) Kalilauge, deren sich jüngst auch Engelmann[1] zu gleichem Zwecke bediente, mikroskopisch untersucht, ohne dass es mir gelungen wäre, ausser glatten Muskelfasern und Endothel charakteristische Ganglienzellen aufzufinden.

Ich muss es vorläufig dahingestellt sein lassen, ob eine eingehendere histologische Untersuchung unter Zuhilfenahme anderer Methoden zu einem abweichenden Resultate führen würde, da ich bis jetzt nicht Zeit gefunden habe, eine solche vorzunehmen.

Physiologische Untersuchung.

1. Die Bewegungen des in situ befindlichen Herzens.

Hat man durch partielle Entfernung der Kalkschale das unmittelbar unter dieser gelegene Herz freigelegt, ohne zunächst das durchsichtige Pericard zu verletzen, so lassen sich durch dieses hindurch die Contractionen erkennen. Wenn man von gewissen Unregelmässigkeiten, welche offenbar durch die mit der Ablösung der Schale verbundene sensible Reizung des Thieres veranlasst sind und in der Regel bald verschwinden, absieht, so bemerkt man, wie die einzelnen Zusammenziehungen einander mit grosser Regelmässigkeit folgen und zwar derart, dass, wie bei dem Wirbel-

[1] Pflüger's Arch. XXIX. p. 429.

thierherzen, je eine Systole des Vorhofes der des Ventrikels vorausgeht. Ein andauernd regelmässiges Pulsiren beobachtet man besonders dann, wenn das Thier entweder in der Schale zurückgezogen in Ruhe verharrt oder sich gleichmässig kriechend fortbewegt. Der normale Rhythmus der Herzbewegung erleidet jedoch sofort bedeutende Störungen, wenn, wie es bei jeder schmerzhaften Reizung der Körperoberfläche der Fall zu sein pflegt, das Thier krampfhafte Bewegungen macht. Dann kommt es sehr häufig zu lang anhaltendem Stillstand in diastolischer Erschlaffung oder es treten Unregelmässigkeiten in der Aufeinanderfolge der einzelnen Contractionen auf, derart, dass eine Reihe rascher Pulse mit seltenen, durch lange Pausen getrennten, wechselt. Dem entsprechend erscheint das Herz bald prall mit Blut gefüllt, bald wieder nahezu gänzlich entleert und schlaff. Unter Umständen genügen schon schwache Erregungen sensibler Theile, um Störungen der Herzbewegung herbeizuführen. So sieht man fast regelmässig, dass leichtes Streichen des Pericards und dessen nächster Umgebung mit einem Pinsel hinreicht, um das vorher ganz regelmässig schlagende Herz für einige Zeit in diastolischen Stillstand zu versetzen. Andererseits kann man mit ziemlicher Sicherheit die rhythmische Bewegung wieder hervorrufen, wenn man mit einer stumpfen Spitze die Gegend der dem Herzen benachbarten Eiweissdrüse reibt. Es muss dahingestellt bleiben, ob man schon auf Grund derartiger Beobachtungen eine directe Abhängigkeit des Herzens vom Nervensystem annehmen darf. Foster ist es nicht gelungen, extracardiale Nerven nachzuweisen. Indessen lässt sich nicht läugnen, dass man vielfach den Eindruck erhält, als bestände in der That eine derartige Abhängigkeit.

Die bedeutendsten Störungen der Herzbewegung beobachtet man immer nach Eröffnung des Pericards. Abgesehen von den durch diesen Eingriff nothwendig bedingten sensiblen Erregungen, scheint dann hauptsächlich die mechanische Behinderung des Zu- und Abflusses des Blutes die veranlassende Ursache zu sein. Da man nämlich den Längsschnitt durch den Herzbeutel nicht zu weit in der Richtung nach dem Vorhofe hin verlängern darf, weil sonst eine rasche Verblutung unvermeidlich wäre, indem das venöse Gefässnetz der Athemhöhle, welches unmittelbar in den Vorhof mündet, verletzt würde, so drängt sich, besonders bei heftigen

Bewegungen des Thieres, das prall mit Blut gefüllte Herz nach Spaltung des Pericards bruchartig hervor, und nun beginnen höchst unregelmässige Contractionen des Vorhofs und des Ventrikels, die oft lebhaft an jenes Wogen und Wühlen des Wirbelthierherzens erinnern, wie man es nach Einwirkung starker electrischer Ströme beobachtet. Besonders der dünnwandige Vorhof erscheint oft übermässig gefüllt und unvermögend seinen Inhalt in den gleichfalls stark gespannten Ventrikel zu entleeren. Häufig sieht man dann an diesem letzteren ein abwechselndes Spiel localer Erschlaffung und Contraction, wobei der Inhalt gleichsam wie im Kreise herumbewegt wird. Wenn dann zeitweise in Folge des Nachlassens der krampfhaften Bewegungen des Thieres der Abfluss frei wird, so beginnt sofort eine vollkommen regelmässige Herzaction. Hat man häufig Gelegenheit, die geschilderten Erscheinungen zu beobachten, so wird man gewiss der Ansicht Foster's beipflichten müssen, welcher die mannigfachen nach Eröffnung des Pericards eintretenden Unregelmässigkeiten der Herzbewegung auf den wechselnden Füllungszustand des Herzens bezieht, der seinerseits wieder „durch die Bewegungen des Thieres und besonders der respiratorischen Kammer beeinflusst wird". In besonders überzeugender Weise spricht sich übrigens die Thatsache, dass die Pulsationen des Schneckenherzens wesentlich mit durch den Spannungszustand seiner Wand bedingt werden, in dem Umstande aus, dass nach Entleerung des Herzens ein oft lange anhaltender, diastolischer Stillstand oder doch eine sehr beträchtliche Verlangsamung der Schlagfolge eintritt. Besonders an lebenskräftigen Sommerthieren beobachtet man nicht selten nach Anschneiden des Vorhofes und dadurch bewirkter rascher Verblutung eine oft mehrere Minuten anhaltende Ruhe des Vorhofes und Ventrikels, so dass man zunächst fast den Eindruck erhält, als vermöge das entleerte, erschlaffte Herz überhaupt nicht zu pulsiren. Indessen kann hiervon nicht die Rede sein. Auch das ausgeschnittene, gänzlich entspannte Herz contrahirt sich wenigstens zeitweise, wie bereits Foster gesehen hat. Doch muss ausdrücklich bemerkt werden, dass die Schlagfrequenz dann in der Regel eine beträchtlich geringere ist, als die des gefüllten Herzens unter normalen Verhältnissen. Es ist sehr darauf zu achten, bei dem Herausschneiden

des Herzens jede, auch die geringste Zerrung oder sonstige mechanische Reizung zu vermeiden, da eine solche meinen Erfahrungen zufolge stets eine mehr oder minder grosse Reihe rhythmischer Zusammenziehungen auslöst, welche dann auch nach völliger Entspannung noch lange fortdauern können.

Will man die Bewegungen des ausgeschnittenen Herzens unter verschiedenen Bedingungen genauer untersuchen, so empfiehlt es sich, dasselbe zunächst in passender Weise auf einer festen Unterlage auszuspannen. Ich fand das folgende Verfahren insbesondere auch behufs späterer Einführung einer Canüle am zweckmässigsten. Nach Spaltung des Pericards durch einen Längsschnitt, welcher über der Ventrikelspitze beginnend bis über den Vorhof hinaus verlängert wird, wobei das abfliessende Blut zu sammeln ist, umschneide ich das Herz von allen Seiten derart, dass sich dasselbe inmitten einer etwa $^1/_2$ Cm. breiten aus den umgebenden Geweben bestehenden Umsäumung befindet. Mittels kleiner Nadeln, welche durch die Seitenwände des Herzbeutels gestochen werden, befestige ich sodann das Präparat auf einer Korkplatte derart, dass das Herz in der Längsrichtung mässig gedehnt, dem Blicke vollkommen frei liegt. Unter diesen Umständen beobachtet man ausnahmslos rhythmische Contractionen beider Herzabtheilungen, die jedoch bemerkenswerther Weise nicht unter allen Umständen, ja man darf wohl sagen in der Regel, nicht in der Weise erfolgen, wie man es unter normalen Verhältnissen am lebenden Thier zu sehen pflegt, wo jeder Zusammenziehung des Ventrikels immer zunächst eine Contraction des Vorhofs vorausgeht, sondern beide Herzabtheilungen pulsiren in verschiedenem, selbstständigem Rhythmus. Fast stets erscheint die Schlagfrequenz des Vorhofes grösser als die des Ventrikels, wenn auch zuweilen das umgekehrte Verhalten vorkommt.

Diese Thatsache, welche für eine relativ bedeutende Selbstständigkeit der einzelnen Abtheilungen des Herzens spricht, lässt von vorneherein erwarten, dass auch ein an der Grenze zwischen Vorhof und Ventrikel geführter Schnitt die automatische Thätigkeit des letzteren nicht beeinträchtigen dürfte. In der That sah bereits Foster, „dass Vorhöfe und Ventrikel ohne Aufhebung des rhythmischen Schlages getrennt werden können“ und zieht aus

diesem Verhalten den Schluss, dass localisirte automatische Nervencentra im Schneckenherzen nicht vorhanden seien. Ich will nicht unerwähnt lassen, dass ich, wenngleich nur in wenigen Fällen, so doch mit Sicherheit beobachtet habe, dass unter Umständen selbst verschiedene Theile des Ventrikels in einem verschiedenen Rhythmus pulsiren. Eine Täuschung durch peristaltisches Fortschreiten der systolischen Zusammenziehung war, abgesehen von der Verschiedenheit des Rhythmus, auch dadurch ausgeschlossen, dass es sich in den betreffenden Fällen eben nur um locale partielle Contractionen handelte.

Es ist mir übrigens gelungen, spontane rhythmische Zusammenziehungen selbst noch an einzelnen in Blut aufbewahrten Stückchen der Ventrikelwand wahrzunehmen. Dieselben erscheinen zwar nach ihrer Trennung durch Schnitt meist andauernd stark contrahirt und sterben auch bisweilen in diesem Zustande ab; in anderen Fällen tritt jedoch schon nach kurzer Zeit vollständige Erschlaffung ein und man hat dann in der Regel Gelegenheit, das Wiederauftreten rhythmischer Pulsationen zu beobachten, die noch stundenlang bei niederer Temperatur anhalten können. Auch diese Thatsache scheint wieder sehr entschieden zu Gunsten der Meinung Foster's zu sprechen, dass automatische Nervencentren dem Schneckenherzen thatsächlich fehlen, man müsste denn annehmen wollen, dass in jedem Stückchen der Ventrikelwand Ganglienzellen vorhanden sind, wofür die anatomische Untersuchung keinerlei Anhaltspunkte gewährt.

2. Einfluss der Wandspannung auf die Bewegungen des Schneckenherzens.

Geben schon die angeführten Beobachtungen an dem in situ befindlichen Schneckenherzen zu der Vermuthung Anlass, dass die Wandspannung hier auch für die unter normalen Verhältnissen erfolgenden Contractionen von weitaus grösserer Bedeutung ist, als es im allgemeinen bei dem Herzen der Wirbelthiere der Fall zu sein scheint, so ergibt sich dies mit überzeugender Gewissheit aus den im Folgenden mitzutheilenden Resultaten künstlicher Dehnungsversuche am ausgeschnittenen Herzen. Ich habe bereits erwähnt, dass unter Umständen auch das vollständig

entleerte und gänzlich entspannte Herz in Blut oder physiologischer Kochsalzlösung regelmässig, rhythmisch pulsirt, wenn auch in der Regel merklich langsamer und schwächer als im gefüllten Zustande. Jedem, der es einmal versucht, das ausgeschnittene Schneckenherz in der oben beschriebenen Weise auf Kork zu befestigen, drängt sich nun unmittelbar die Thatsache auf, dass selbst eine geringe Dehnung des Präparates genügt, um nicht nur die Schlagfolge beträchtlich zu beschleunigen, sondern auch die Stärke der einzelnen Contractionen wesentlich zu steigern. Unterbindet man die Spitze des Ventrikels unmittelbar an jener Stelle, wo er in den grossen arteriellen Gefässstamm übergeht, und durchschneidet man diesen unterhalb der Unterbindungsstelle, während ein zum Fassen hinreichend langes Fadenstück mit jenem in Verbindung bleibt, so kann man durch Anziehen oder Nachlassen des Fadens den Ventrikel, beziehungsweise auch den Vorhof des Herzens in beliebigem Grade dehnen oder völlig entspannen. Bewahrt man ein derart vorbereitetes Präparat längere Zeit in einer feuchten Kammer bei nicht zu hoher Temperatur auf, so nimmt die Frequenz sowie auch die Stärke der Contractionen des entspannten Ventrikels mehr und mehr ab und in der Regel tritt sehr bald Stillstand in diastolischer Erschlaffung ein. In diesem Falle genügt es, den Faden nur wenig anzuziehen, um sofort rhythmische Zusammenziehungen auszulösen, die je nach dem Grade der Dehnung rascher oder langsamer aufeinanderfolgen. Es tritt dann oft der schon oben erwähnte Fall ein, dass der Vorhof rascher als der Ventrikel pulsirt, was wohl darauf zurückzuführen sein dürfte, dass der erstere wegen der viel grösseren Zartheit seiner Wand verhältnissmässig stärker gedehnt wird als der dickwandige Ventrikel. War die Dehnung nicht allzu schwach und dauerte sie insbesondere einige Zeit an, so beobachtet man regelmässig eine mehr oder minder bedeutende Nachwirkung, indem die rhythmischen Contractionen auch nach Erschlaffung des Herzens noch einige Zeit fortdauern. Eine solche Nachwirkung vermehrter Wandspannung sahen, wenn auch unter wesentlich verschiedenen Versuchsbedingungen Ludwig und Luchsinger[1] auch am Froschherzen.

---

[1] Pflüger's Arch. XXV. p. 231.

Es würde nicht schwer sein, die Bewegungen des in der beschriebenen Weise in wechselndem Grade gedehnten Schneckenherzens graphisch zu verzeichnen, indessen bietet eine andere Versuchsmethode hierzu viel besser Gelegenheit. Es gelingt nämlich selbst an kleinen Exemplaren von *Helix pomatia* ohne wesentliche Mühe, sehr leicht aber an grossen, eine entsprechende Canüle durch den Vorhof hindurch bis in den oberen Theil des Ventrikels einzuführen, wenn das Herz zuvor in der früher beschriebenen Weise auf Kork befestigt wurde. Ich benützte eine Glascanüle von 8 Ctm. Länge und 4 Mm. Durchmesser, welche am unteren Ende einen Durchmesser von etwa 1 Mm. hatte. Dieselbe wird mit Schneckenblut oder 0·5% Kochsalzlösung bis etwa 2 Cm. unterhalb des freien Randes gefüllt und mit einem Kork verschlossen in das Herz eingeführt, nachdem vorher schon die Spitze des Ventrikels unterbunden und ausserdem eine lose Fadenschlinge an der Grenze zwischen Vorhof und Ventrikel angelegt wurde. Es ist darauf zu achten, die Spitze der Canüle nicht allzuweit in den Ventrikel vorzuschieben, da dies für manche der später mitzutheilenden Versuche von Nachtheil sein würde; auch ist es zweckmässig, die obere Unterbindung gerade an der Grenze beider Herzabtheilungen vorzunehmen, um einmal die Folgen mechanischer Reizung des Ventrikels durch eine zu tiefe Unterbindung möglichst zu vermeiden und andererseits Bewegungsstörungen auszuschliessen, wie sie durch gleichzeitige Contractionen eines Vorkammerrestes und des Ventrikels nothwendig veranlasst würden.

In der Regel erscheint der auf der Canüle festgebundene Ventrikel zunächst vollständig erschlafft und lässt entweder nur Spuren rhythmischer Contractionen erkennen oder es fehlen dieselben wohl auch gänzlich. Wenn man jedoch nach Entfernung des oberen Verschlusses die Canüle aus der ursprünglich horizontalen in eine etwas geneigte Lage bringt, so dass deren Inhalt in den Ventrikel fliesst und denselben ausdehnt, so beginnen sofort regelmässige, sehr kräftige Zusammenziehungen, deren Frequenz und Stärke bis zu einer gewissen Grenze zunimmt, je mehr der Innendruck und mit diesem die Wandspannung durch weiteres Neigen der Canüle wächst. Bringt man dieselbe wieder in ihre ursprüngliche horizontale Lage zurück und entlastet man auf diese

Weise den Ventrikel, so dauern zwar die rhythmischen Contractionen in Folge der Nachwirkung noch einige Zeit fort, nehmen jedoch mehr und mehr an Stärke ab, um schliesslich ganz zu verschwinden. Man kann diesen Versuch beliebig oft mit immer gleichem Erfolg wiederholen.

Eine in vieler Beziehung noch zweckmässigere Methode, um die Grösse des Innendruckes rasch und in messbarer Weise zu variiren, besteht darin, die Canüle mit dem aufgebundenem Herzen sofort vertical zu stellen, so dass zunächst der Druck der ganzen Flüssigkeitssäule auf die Innenwand des Ventrikels wirkt. Durch allmälig tieferes Eintauchen in ein weiteres mit 0·5$^0/_0$ Kochsalzlösung gefülltes Gefäss lässt sich dann leicht auch die Grösse des auf die Aussenfläche des Herzens wirkenden Druckes von Null bis zu einem Momente steigern, wo Innen- und Aussendruck einander gleich sind und die Wandspannung daher gänzlich aufgehoben ist.

Der Unterschied im Niveau des Flüssigkeitsspiegels in der Röhre und in dem äusseren Gefässe gibt dann in jedem Augenblicke ein Mass ab für die Grösse der jeweiligen Wandspannung. Um die Bewegungen des Herzens graphisch darzustellen, genügt es, das obere, freie Ende der Canüle mittelst eines engen, dickwandigen Kautschukschlauches mit einem kleinen aber möglichst empfindlichen M a r e y'schen Tambour enregistreur zu verbinden.

Wie zu erwarten war, tritt auch bei diesem Versuchsverfahren die Abhängigkeit der rhythmischen Contractionen von der Wandspannung mit grösster Deutlichkeit hervor. Gerade wie bei der ganglienfreien „Herzspitze" des Frosches unter analogen Bedingungen handelt es sich auch hier in der Regel um einen Wechsel zwischen kräftigsten, rhythmischen Zusammenziehungen und absoluter Ruhe, nur mit dem Unterschiede, dass entsprechend der unvergleichlich grösseren Zartheit der Wand des Schneckenherzens die absoluten Druckwerthe hier nur sehr gering zu sein brauchen. Fast immer sah ich maximale Wirkungen bereits bei einer Druckhöhe von 20 Mm. Es dürfte demgemäss auch nicht leicht ein zweites Object zu finden sein, an welchem sich so leicht und sicher, wie an dem Schneckenherzen, der auffallende Einfluss der Spannung auf die Erregbarkeit von Muskelelementen nachweisen lässt.

Wenn ich sagte, dass unter den gegebenen Versuchsbedingungen bei völliger Aufhebung der Wandspannung absolute Ruhe des Ventrikels die Regel sei, so ist hinzuzufügen, dass in einzelnen Fällen auch dann noch schwache, in grossen Pausen einander folgende Contractionen beobachtet werden, allerdings nur unter den günstigsten Umständen an möglichst erregbaren Präparaten. Es ist erstaunlich, wie geringe Unterschiede des Innen- und Aussendruckes oft noch genügen, um für die Dauer rhythmische Contractionen auszulösen. So habe ich in vielen Fällen gesehen, dass bei einer Niveaudifferenz von kaum 5 Mm. noch Pulsationen vorhanden waren, die sofort verschwanden, wenn der geringe Überdruck beseitigt wurde und wieder hervortraten, sobald die Wandspannung dieselbe Grösse wie vorher erreicht hatte. Bei minder erregbaren Präparaten bedarf es allerdings immer viel bedeutenderer Druckwerthe. Die Grösse der Distanz, innerhalb welcher die Flüssigkeitssäule in der Glasröhre während der Ventrikelcontractionen schwankt, gibt unmittelbar ein Maass für die Stärke der letzteren, so dass man auch ohne graphische Verzeichnung leicht zu erkennen vermag, dass bei Verminderung der Wandspannung nicht nur die Pulszahl, sondern auch der Umfang jeder einzelnen Systole geringer wird.

Die folgenden Zahlen mögen als Beispiel für die Abnahme der Pulszahl bei Verminderung der Wandspannung dienen.

Druckhöhe. (Niveaudifferenz in der Canüle und im Aussengefäss.)	Schlagzahl in der Minute.
30 Mm.	50
15	36
8	21
5	11
2	0
30	50

Die Temperatur betrug während des Versuches 20° C.

Ich habe noch einer Erscheinung zu erwähnen, welche bei dem zuletzt beschriebenen Versuchsverfahren fast regelmässig beobachtet wird und für gewisse später zu beschreibende Versuche von grosser Bedeutung ist. Es ist dies ein oft sehr lange anhaltender, gleichmässiger Contractionszustand des

Ventrikels, der infolge plötzlicher Drucksteigerung nach Ablauf einer grösseren oder kleineren Zahl regelmässiger Zusammenziehungen, welche unmittelbar nach Verticalstellung der Glasröhre folgen, eintritt. Die Entwicklung dieser eigenthümlichen Erscheinung geht immer in gleicher Weise vor sich: Während der Ventrikel sich anfangs unter dem vollen Druck der in der Canüle befindlichen Flüssigkeitssäule ad maximum ausdehnt und bei jeder systolischen Zusammenziehung vollkommen entleert, sieht man bald, dass die diastolische Erschlaffung unvollständig wird, es bleibt so zu sagen ein Contractionsrest zurück, welcher nun mit jeder folgenden Zusammenziehung wächst, bis endlich das Herz gar nicht mehr erschlafft und dauernd systolisch contrahirt bleibt, obschon die Druckverhältnisse in keiner Weise verändert wurden. Wohl kann man dann noch schwache, rhythmische Bewegungen der Muskelwand bei genauer Betrachtung erkennen, dieselben reichen jedoch nicht mehr hin, eine merkliche Verschiebung der Flüssigkeitssäule in der Röhre zu bewirken, und schliesslich lässt sich selbst mit der Loupe keine Spur von Bewegung wahrnehmen. Es ist hervorzuheben, dass im Verlauf der Entwicklung dieser dauernden systolischen Zusammenziehung die anfängliche Schlagfrequenz bis zu Ende unverändert dieselbe bleibt. Auch die letzten Spuren von Contractionen erfolgen noch genau im gleichen Rhythmus, wie die ersten kräftigen Zusammenziehungen. Es bildet dieser Umstand ein charakteristisches Merkmal im Vergleich zu der Entwicklung jener diastolischen Stillstände, welche als Folge verminderter, beziehungsweise aufgehobener Wandspannung beobachtet werden, wobei die Pulszahl immer bedeutend abnimmt. Die Zahl der sichtbaren, rhythmischen Contractionen, welche bis zu der vollständigen Aussbildung des in Rede stehenden Zustandes erfolgen, wechselt begreiflicherweise ausserordentlich mit dem Erregbarkeitszustande des betreffenden Präparates. Während es, wie schon erwähnt wurde, seltene Ausnahmsfälle gibt, wo es ungeachtet eines beträchtlichen Anfangsdruckes, der, wie sich zeigen wird, sehr wesentlich ist, überhaupt nicht zur Entwicklung einer systolischen Dauercontraction kommt, die rhythmischen Zusammenziehungen vielmehr ungestört fortdauern, so kommen andererseits auch Fälle vor, wo der Ventrikel sofort nach dem Einbinden der

Canüle sich zusammenzieht und nicht wieder erschlafft. Es wollte mir scheinen, als trete dies besonders häufig dann ein, wenn die Ligatur aus Versehen zu tief angelegt wird und daher den obersten Theil des Ventrikels abschnürt. Dass in der That eine stärkere mechanische Reizung beliebiger Stellen der Ventrikelwand eine über die nächste Umgebung sich mehr oder weniger weit verbreitende Dauercontraction zur Folge hat, lässt sich leicht zeigen. Es verharrt eine solche Stelle in contrahirtem Zustande, während der übrige Theil des Ventrikels diastolisch erschlafft, so dass verschiedene Unregelmässigkeiten der Form entstehen, woran man allein oft eine während der Präparation zufällig zugefügte mechanische Schädigung erkennt. So sieht man auch in den meisten Fällen die nächste Umgebung der an der Herzspitze angelegten Ligatur anfangs nur unvollkommen diastolisch erschlaffen und erst später an der Bewegung des übrigen Herzens theilnehmen. Es dürfte kaum zu bezweifeln sein, dass diese Folgeerscheinungen localer mechanischer Reizung des Schneckenherzens in Paralelle zu stellen sind mit jenen bereits von Schiff[1] und später von Rossbach[2] beschriebenen, von ersterem als „idiomusculare“ Contraction bezeichneten, localen, lange dauernden Schrumpfungen des Froschherzens, wie sie nach starker mechanischer oder elektrischer Reizung beobachtet werden. Der Unterschied besteht nur darin, dass schon ein verhältnissmässig schwacher Reiz genügt, um an dem Schneckenherzen eine nicht nur auf den Ort der Reizung beschränkte, sondern sich weiter, unter Umständen über den ganzen Ventrikel verbreitende, dauernde Zusammenziehung herbeizuführen. Unter diesen Verhältnissen liegt es nahe, an eine gleiche Enstehungsursache der Contraction des Ventrikels auch in jenem Falle zu denken, wo dieselbe während stetiger Einwirkung eines beträchtlichen Innendruckes sich allmälig entwickelt. Zu Gunsten dieser Ansicht lässt sich anführen, dass bei recht vorsichtiger und möglichst langsamer Steigerung des Druckes, wie sie sich etwa durch ganz allmäliges Verticalstellen der Glasröhre herbeiführen lässt, der Ventrikel ununterbrochen pulsirt. Ebensowenig kommt es zu Entwicklung einer dauernden Con-

[1] Arch. f. physiolog. Heilkunde 1850.

[2] Verh. der phys.-med. Ges. in Würzburg. N. F. Bd. 5. und Pflüger's Arch. Bd. XXV.

traction, wenn der Innendruck von vornherein nicht zu gross ist (etwa 20 Mm.). Es scheint, dass auch die Beschaffenheit der zur Füllung benützten Flüssigkeit in dieser Beziehung nicht ohne Bedeutung ist. Wenigstens sah ich unter sonst gleichen Bedingungen den systolischen Stillstand in der Regel rascher eintreten, wenn das Herz mit dem alkalisch reagirenden Blut des Thieres gefüllt war, als bei Füllung mit physiologischer Kochsalzlösung, in welch' letzterem Falle auch oft Unregelmässigkeiten der Herzbewegung und baldige Erschöpfung eintreten. Hat das Herz erst einmal während längerer Zeit bei geringer Spannung regelmässig pulsirt, so kann man den Druck bedeutend steigern, ohne dass eine dauernde Zusammenziehung eintritt. Es scheint daher nach diesen Versuchen, dass eine mässige oder ganz allmälig zunehmende Dehnung die contractilen Elemente der Herzwand zu regelmässig rhythmischer Thätigkeit anregt, während eine rasch zunehmende oder von vornherein starke Spannung, wenigstens am frischen Präparate, zur Entstehung einer lang anhaltenden Verkürzung führt.

Früher oder später, oft erst nach einer halben Stunde, erschlafft der systolisch contrahirte Ventrikel, auch wenn der Druck in gleicher Stärke fortdauert, und es beginnen nun wieder regelmässige, rhythmische Zusammenziehungen. Es ist mir dann niemals gelungen, durch längere Aufhebung des Innendruckes und plötzliche Steigerung bis zu seiner früheren Höhe oder darüber hinaus ein zweites Mal jenen eigenthümlichen Contractionszustand des Herzens herbeizuführen.

Hinsichtlich der Frage, ob analoge Erscheinungen auch bei dem Wirbelthierherzen vorkommen, möchte ich in erster Reihe an einen älteren Versuch von Goltz[1] erinnern, bei welchem eine von ihm als „Herztetanus" bezeichnete dauernde Zusammenziehung durch plötzliche, sehr starke Dehnung des Ventrikels bewirkt wurde. In neuerer Zeit haben ferner Aubert[2] und Gaskell[3] „cardiotonische" Zustände des Froschherzens beschrieben, welche unter gewissen Bedingungen auftreten und zweifelsohne als Analogon des eben beschriebenen systolischen Stillstandes des Schneckenherzens gelten dürfen. Aubert, wie auch Gaskell

[1] Virchow's Arch. Bd. XXIII. p. 5. f.

[2] Pflüger's Arch. XXIV. p. 381.

[3] Journal of Physiology. Vol. III. p. 48 ff.

kommen übereinstimmend zu der Überzeugung, dass es sich hier nicht sowohl um einen wahren Tetanus des Herzmuskels handelt, sondern vielmehr um einen von dem Muskelgewebe selbst ausgehenden „Tonus“, vergleichbar den tonischen Contractionszuständen anderer glattmuskeliger Organe.

3. Einfluss der Temperatur.

Es war zu erwarten, dass bei einem so zarten, dünnwandigen Organ wie dem Schneckenherzen der Einfluss der Temperatur sich rasch und in besonders auffälliger Weise schon deshalb geltend machen würde, weil die normale Schlagzahl des Herzens eine verhältnissmässig geringe ist. In der That lehrt schon die Beobachtung unversehrter Thiere mit freigelegtem Herzen, einen wie bedeutenden Einfluss die Temperatur des umgebenden Mediums auf die Frequenz der Herzcontractionen besitzt.

Noch viel deutlicher lässt sich dieselbe Thatsache an einem ausgeschnittenen und in der beschriebenen Weise vorbereiteten Herzen constatiren. Man braucht dasselbe nur in verschieden temperirte $^1/_2{}^0/_0$ Kochsalzlösung zu tauchen, um in rascher Folge die auffallendsten Veränderungen der Pulszahl wahrzunehmen. Man überzeugt sich auf diese Weise leicht, dass bei einer Temperatur von etwa 38—40° C. das sonst ziemlich träge sich zusammenziehende Schneckenherz fast ebenso schnell zu pulsiren vermag, wie das Herz eines Warmblüters. Ich beobachtete unter Umständen nicht selten eine Schlagfrequenz von 80—100 in der Minute. Die Frequenzsteigerung erfolgt natürlich um so rascher, je schneller auch die Temperatur ansteigt. Dabei bleibt der Umfang der einzelnen systolischen Contractionen anfangs unverändert, nimmt jedoch bei höheren Temperaturen, insbesondere bei längerer Einwirkung derselben merklich ab.

Engelmann[1] hat jüngst auf die merkwürdige Thatsache aufmerksam gemacht, dass der Aortenbulbus des Froschherzens noch bei Temperaturen spontan pulsirt, die weit über der gewöhnlich angenommenen Erstarrungstemperatur der Kaltblütermuskel liegen. Er sah spontane, rhythmische Contractionen noch bei

---

[1] Pflüger's Arch. XXIX. p. 460 ff.

46·5° C. und überzeugte sich, dass die absolut tödtliche Temperatur noch beträchtlich höher angenommen werden muss. Die contractilen Elemente des Schneckenherzens scheinen merkwürdigerweise eine noch grössere Resistenz zu besitzen, indem ich noch bei 49° C. rhythmische Zusammenziehungen des mit Blut gefüllten Herzens beobachtete. Bei 46—47° C. pulsirt es regelmässig noch während längerer Zeit, wenngleich mit allmälig abnehmender Frequenz und Stärke. Es ist nun allerdings zu bedenken, dass bei dem gewählten Versuchsverfahren die Wand des Ventrikels durch das in der Canüle enthaltene, niedriger temperirte Blut beständig abgekühlt wird, indessen habe ich mich durch Controllversuche, bei welchen zur Füllung vorgewärmte Kochsalzlösung (0·6%) benützt wurde, überzeugt, dass die vorstehenden Angaben im allgemeinen als zutreffend gelten dürfen.

Sehr bemerkenswerth sind die Beziehungen, welche zwischen den „cardiotonischen" Erscheinungen am Schneckenherzen und der Temperatur bestehen. Hier fällt zunächst auf, dass der „Tonus" unter Umständen sofort schwindet, wenn man den systolisch contrahirten Ventrikel einer höheren Temperatur (30—45° C.) aussetzt.

Dies ist jedoch bei der gewöhnlichen Entstehungsweise der tonischen Zusammenziehung durch gesteigerten Innendruck nur dann der Fall, wenn nach längerem Bestande die spontane Lösung derselben unmittelbar bevorsteht. In einem früheren Stadium bedarf es meist längerer Einwirkung der Wärme (durch Eintauchen des Präparates in entsprechend temperirte Kochsalzlösung), bevor eine merkliche Erschlaffung eintritt, die auch dann zunächst nur unvollkommen ist und welcher sich gewöhnlich eine Reihe schwacher, rhythmischer Contractionen anschliesst. Bei wiederholtem Temperaturwechsel wird dann die der jedesmaligen Erwärmung unmittelbar folgende Diastole immer stärker und schliesslich erzielt man auf diese Weise eine vollständige dauernde Erschlaffung des Herzens, die rascher oder langsamer in den früheren Tonus übergeht, sobald das Präparat wieder abgekühlt wird.

Es scheint, dass durch eine vorgängige Erwärmung die Entwicklung eines tonischen Contractionszustandes sehr wesentlich begünstigt wird. Dafür spricht unter anderem auch die Thatsache

dass Herzen, welche nach spontaner Lösung des anfänglichen (Druck-) Tonus regelmässig pulsiren und sich, wie schon erwähnt, auch bei abermaliger Steigerung des Innendruckes nicht mehr tonisch contrahiren, dies ausnahmslos schon bei geringem Druck thun, wenn man sie nach kurzer Einwirkung höherer Temperaturgrade (40—45° C.) in die Anfangstemperatur zurückversetzt oder gar durch Eintauchen in kalte Kochsalzlösung noch weiter abkühlt. Offenbar handelt es sich hier lediglich um eine Contrastwirkung, da die Abkühlung eines bei gewöhnlicher Zimmertemperatur pulsirenden Herzens zwar eine mehr oder minder beträchtliche Verlangsamung der Schlagfolge, beziehungsweise gänzlichen Stillstand (in Diastole) herbeiführt, niemals aber eine systolische Contraction bewirkt.

Obschon sich nun ein auf diese Weise erzeugter „Tonus" hinsichtlich seiner Stärke nicht wesentlich von der durch gesteigerten Innendruck bewirkten tonischen Zusammenziehung unterscheidet, dieselbe sogar oft übertrifft, so erhält man doch durchwegs den Eindruck, dass der erstere sich unter dem Einfluss der Wärme viel leichter und rascher löst, als der „Drucktonus". Es genügt hier regelmässig schon ein einmaliges kurzes Eintauchen in erwärmte Salzlösung, um den contrahirten Ventrikel nach einem oft kaum merklichen „Latenzstadium" in den Zustand vollständiger, diastolischer Erschlaffung zu versetzen, die einige Zeit anhält, worauf entweder rhythmische Pulsationen in einer der Temperatur entsprechenden Frequenz eintreten oder eine langsam zunehmende systolische Zusammenziehung erfolgt, die sehr wesentlich beschleunigt wird, wenn man das Präparat aus der erwärmten Lösung entfernt und überdies rasch abkühlt. Ich fand es in diesem Falle zweckmässig, nur mässig erwärmte Kochsalzlösung von etwa 30—35° C. zu benützen, da diese Temperatur fast immer genügt, um selbst den stärksten durch Temperaturcontrast bewirkten Tonus rasch zu beseitigen und da man so die baldige Erschöpfung des Präparates bei öfterer Wiederholung des Versuches möglichst vermeidet. In einigen Fällen habe ich nach bloss partiellem Erwärmen durch Eintauchen der Spitze des systolisch contrahirten Ventrikels in warme (32° C.) Salzlösung eine darauffolgende totale Erschlaffung beobachtet, wobei sich

die Diastole ganz deutlich peristaltisch vom Orte ihres ersten Entstehens nach oben weiterverbreitete. Man kann berechtigten Zweifel hegen, ob es sich hier wirklich um eine Fortleitung des Erschlaffungszustandes handelt, da ja der Einfluss der strahlenden Wärme, sowie das Aufsteigen warmer Flüssigkeitsströme im Innern des Ventrikels nicht wohl ausgeschlossen werden kann; indessen möchte ich zu Gunsten einer solchen Auffassung den Umstand geltend machen, dass es fast regelmässig gelingt, einen in tonischer Contraction befindlichen Ventrikel auch durch locale mechanische Reizung in vollkommene diastolische Erschlaffung zu versetzen, in welchem Falle sich die langsame peristaltische Ausbreitung der Diastole mit dem Auge ganz sicher verfolgen lässt. Ich bediente mich hierbei entweder einer stumpfen Spitze, mit welcher ich irgend eine Stelle der Ventrikeloberfläche leicht rieb, oder drückte die Herzspitze leicht und wiederholt zwischen den mit Elfenbein gefütterten Branchen einer Pinzette. Ich will ausdrücklich bemerken, dass ich mechanische Reizung stets nur an Präparaten wirksam fand, welche in Folge von Erwärmung und darauffolgender Abkühlung in tonischen Contractionszustand versetzt worden waren. Auch gelingen diese Versuche, wie es scheint, besser bei Füllung des Herzens mit physiologischer Kochsalzlösung als mit Blut.

Nicht selten bleibt die Erschlaffung local, indem sich nur die direct gereizte Stelle des Ventrikels und deren nächste Umgebung unter dem Drucke der in der Canüle enthaltenen Flüssigkeit ausbaucht. Die Anologie mit der später noch zu besprechenden „localen Diastole“ des Froschherzens tritt dann unmittelbar hervor.

Die Thatsache, dass, wie gezeigt wurde, Muskelfasern bei Erwärmung sich verlängern und bei Wiederabkühlung sich contrahiren, steht keineswegs vereinzelt da. Professor Hering theilt mir mit, dass er schon vor langer Zeit beobachtete, wie tonisch contrahirte Gefässe (Arteria saphena des Kaninchens) local erschlaffen, wenn irgend eine Stelle ihres Verlaufes der Einwirkung strahlender Wärme ausgesetzt wird. Dabei tritt eine spindelförmige rothe Erweiterung hervor, die bei darauffolgender Abkühlung wieder vollständig schwindet.

Später haben Grünhagen und Samkowy[1] darauf aufmerksam gemacht, dass gewisse glatte Muskelfasern von Kalt- und Warmblütern ein sogenanntes „actives Elongationsvermögen" besitzen, indem sie sich bei Erwärmung oder elektrischer Reizung mit tetanisirenden Inductionsströmen verlängern, bei Abkühlung dagegen verkürzen. G. Pfalz[2] hat dieselbe Erscheinung abermals untersucht. Es dürfte kaum zu bezweifeln sein, dass man es hier wie dort mit analogen Erscheinungen zu thun hat, und wenn auch die genannten Untersuchungen nicht zu ganz einheitlichen Resultaten geführt haben, was bei der Schwierigkeit, mit ausgeschnittenen, aus sehr verschiedenen Geweben zusammengesetzten Organen, wie Blase, Sphinkteren etc. zu experimentiren, nicht überraschen kann, so dürfte die Vermuthung vielleicht doch nicht allzu gewagt erscheinen, dass alle tonisch contrahirten, glatten Muskelfasern sich in dieser Beziehung gleichartig verhalten. Spätere Untersuchungen müssen über diese Frage entscheiden.

4. Einfluss electrischer Reizung.

Foster, welcher zuerst auf gewisse, höchst auffallende Erscheinungen bei electrischer Reizung des Schneckenherzens aufmerksam gemacht hat, beschränkte sich auf die Darlegung der mittels tetanisirender Inductionsströme gewonnenen Resultate. Da jedoch, wie sich zeigen wird, ein Verständniss der so zu beobachtenden Thatsachen erst durch eine eingehende Untersuchung der Wirkungen des Kettenstromes angebahnt wird, so will ich im Folgenden zunächst mit der Erörterung der letzteren beginnen. Man muss es als einen günstigen Zufall bezeichnen, dass durch den unter gewissen Umständen sich mit grosser Regelmässigkeit entwickelnden tonischen Contractionszustand des Schneckenherzens die Möglichkeit geboten ist, die Einwirkung des Stromes auf den Herzmuskel während einer so zu sagen protrahirten, systolischen Zusammenziehung zu untersuchen, was bei dem Froschherzen wegen zu kurzer Dauer der einzelnen Systole nur unvollkommen gelingt. Nur so ist es auch erklärlich,

---

[1] Pflüger's Arch. X.

[2] G. Pfalz, über das Verhalten glatter Muskeln verschiedener Thiere gegen Temperaturdifferenzen und elektrische Reizung. Diss. Königsberg 1882.

dass die mitzutheilenden Thatsachen, welche in beiden Fällen vorhanden, dem Beobachter an dem einen Objecte doch in einer sehr viel auffälligeren Weise entgegentreten, bisher nicht genügende Beachtung fanden.

Wenn man den vollen Strom von 1—2 Daniell'schen Elementen mittels unpolarisirbarer Elektroden durch den in Contraction befindlichen Ventrikel eines in der beschriebenen Weise mit einer Canüle verbundenen Schneckenherzens hindurchleitet, indem man das gehörig durchfeuchtete Fadenende der unteren, um die Herzspitze gelegten Ligatur in ein Gefäss mit Kochsalzlösung tauchen lässt, in welche zugleich die eine Elektrode eintaucht, während die andere fein zugespitzte Pinsel-Elektrode oberhalb der an der Grenze zwischen Vorkammer und Ventrikel befindlichen Ligatur anliegt, so beobachtet man bei Schliessung des Stromkreises in allen Fällen eine sofortige Erschlaffung des Ventrikels, die jedoch bemerkenswerther Weise niemals gleichzeitig an allen Punkten der durchflossenen Strecke erfolgt, sondern ausnahmslos an dem Ende beginnt, wo der Strom eintritt, also an der Anode. In Form einer mehr oder weniger rasch sich fortpflanzenden, immer jedoch mit dem Auge leicht zu verfolgenden Welle schreitet die Erschlaffung stets in der Richtung des Stromes vom positiven zum negativen Pole fort. Hält man nur so lange geschlossen bis die „Erschlaffungswelle" an dem kathodischen Ende des Präparates angelangt ist und öffnet man dann den Strom, so kehrt in der Regel, wenigstens in allen Fällen, wo der Tonus von vorneherein stärker entwickelt war, der Ventrikel in seinen ursprünglichen, andauernden Contractionszustand zurück. Nur dann, wenn bereits bei Beginn des Versuches ein wenig ausgeprägter Tonus herrschte oder wenn man zu einer Zeit reizt, wo voraussichtlich die Pulsationen auch spontan bald begonnen haben würden, schliesst sich an eine einmalige kurzdauernde Schliessung des Kettenstromes eine ununterbrochene Reihe regelmässiger, rhythmischer Contractionen an, wobei dieselben entweder unbegrenzt fortdauern oder nach einiger Zeit einer abermaligen tonischen Contraction weichen. In vielen Fällen verharrt der Ventrikel während der Schliessungsdauer des Stromes einige Secunden lang in diastolisch erschlafftem Zustand,

Wenn man mit Präparaten experimentirt, welche von vornherein in einem beträchtlichen Grade tonisch contrahirt waren, so scheint die von der Anode ausgehende Erschlaffung die einzige sichtbare Wirkung des Stromes zu sein, eine vorgängige Zunahme der Contraction ist unter solchen Verhältnissen wenigstens nicht merklich. Dass eine solche jedoch unter Umständen der Erschlaffung thatsächlich vorausgeht, lässt sich mit aller Sicherheit in Fällen constatiren, wo anfangs nur ein mittlerer Grad tonischer Zusammenziehung besteht. Dann sieht man bei Schliessung eines Stromes von genügender Stärke den Ventrikel sich zunächst, wie es scheint, gleichzeitig in allen seinen Theilen, contrahiren, worauf dann erst die peristaltische Erschlaffung von der Anode aus beginnt.

Wenn hier, wie ich auf Grund später mitzutheilender Versuche behaupten darf, die Contraction von der Kathode ausgeht, so lässt sich aus diesem Verhalten jedenfalls der Schluss ziehen, dass das Latenzstadium der kathodischen Schliessungserregung kleiner, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit derselben aber grösser ist, als bei der anodischen Schliessungswirkung. Dagegen scheint die letztere schon bei einer geringeren Stromesintensität wirksam zu werden, als jene, denn ich sah mehrmals bei schwachem Tonus eine (locale) Erschlaffung an der Anode früher, d. i. bei geringerem Rheochordwiderstand eintreten, als die erwähnte Schliessungscontraction.

Engelmann[1] zeigte, dass jede kleine Muskelbrücke, welche zwei sonst völlig von einander getrennte Theile des Froschherzventrikels miteinander verbindet, den physiologischen Leitungsvorgang zwischen beiden noch zu vermitteln vermag, indem die vom Vorhof kommende Erregung durch die Brücke hindurch auf den unteren Theil des Ventrikels übertragen wird. Er schliesst hieraus auf eine Leitung des Erregungsprocesses von Zelle zu Zelle ohne Vermittlung nervöser Elemente. In ganz analoger Weise lässt sich nun auch zeigen, dass die anodische Erschlaffungswelle von einer Ventrikelhälfte auf die andere übertragen wird, wenn nur ein kleiner Rest normaler Muskelwand die Verbindung

---

[1] Pflüger's Arch. Bd. XI. p. 465.

herstellt. Man kann durch vorsichtiges Quetschen des anodisch erschlafften Ventrikels eines möglichst grossen Schneckenherzens von der Seite her mittels einer kleinen, schmalen Pinzette sehr leicht den grössten Theil seiner Wand im mittleren Umfange leitungsunfähig machen. Gleichwohl sieht man bei darauffolgender Durchströmung die Erschlaffung sich durch die schmale, leitungsfähige Brücke hindurch, allerdings wesentlich langsamer als unter normalen Verhältnissen, fortpflanzen.

Eine Quetschung, welche sich über den ganzen mittleren Umfang des Ventrikels erstreckt und denselben in zwei erregbare, durch eine schmale, unerregbare Zone getrennte Hälften theilt, bietet übrigens ein Mittel, um die Erscheinungen, welche bei Reizung mit Kettenströmen auftreten noch genauer zu untersuchen, als dies an dem ganzen, unversehrten Herzen möglich ist. Es bietet der Versuch allerdings einige Schwierigkeiten insoferne dar, als wegen der grossen Empfindlichkeit des Präparates für mechanische Reizung die beiden Ventrikelhälften nicht selten ungleich anspruchsfähig sind, indem die eine oder andere stärker contrahirt bleibt oder überhaupt nicht mehr in den erschlafften Zustand zurückkehrt, indessen gelangt man, wenn nur möglichst grosse Thiere zur Verfügung stehen, bei einiger Übung doch oft genug zum Ziele. Schickt man durch ein derartiges, entsprechend vorbereitetes Präparat einen nicht zu schwachen Kettenstrom hindurch, *so sieht man, wie zu erwarten war, stets nur die anodische Hälfte erschlaffen, die kathodische lässt entweder keinerlei Veränderungen erkennen, oder sie contrahirt sich deutlich bei Schliessung des Stromes, wenn ihr Tonus nur wenig ausgeprägt war. Bei Öffnung des Kreises kehrt sich günstigen Falles dieses Verhalten geradezu um: jetzt erschlafft der kathodische Ventrikelabschnitt, während der anodische sich zusammenzieht.* Es ist hier zu bemerken, dass allerdings jede Ventrikelhälfte ihre physiologische Anode und Kathode besitzt. Der Grund, wesshalb demungeachtet nur einseitige Wirkungen beobachtet werden, kann lediglich darin gesucht werden, dass an der Quetschungsstelle einerseits die Stromdichte eine geringere ist (wegen des grösseren Querschnittes), während andererseits wohl auch die durch den mechanischen

worauf dann erst rhythmisch peristaltische Contractionen beginnen. Oft bemerkt man, dass die anodische Erschlaffung leichter an dem einen als an dem anderen Ende des Präparates eintritt, und in der Regel erscheint die Basis des Ventrikels in dieser Beziehung begünstigt. Es dürfte dies damit zusammenhängen, dass, wie ich schon oben erwähnte, gerade an der Herzspitze der mechanische Reiz der Ligatur oft zu einer localen, stärkeren Contraction Anlass gibt, die, wie sich auch anderweitig zeigen lässt, der Einwirkung der Anode einen viel bedeutenderen Widerstand entgegensetzt, als die durch den Spannungszustand der Wand bedingte, tonische Zusammenziehung.

Legt man die Elektroden einander gegenüber an die Endpunkte der Queraxe des Ventrikels, so beginnt auch dann bei Schliessung des Stromes die Erschlaffung auf Seite der Anode und es tritt dementsprechend eine Ausbauchung des Herzens auf dieser Seite ein.

Was die Intensität der Ströme betrifft, bei welcher die geschilderten Erscheinungen hervortreten, so hängt dies wesentlich von der Stärke des bestehenden „Tonus" ab. Ich habe oft noch deutliche Wirkungen bei Anwendung eines Daniell'schen Elementes mit Einschaltung eines Rheochordwiderstandes von kaum 5 Ctm. Länge beobachtet, und man kann es im allgemeinen als Regel gelten lassen, dass unter den erwähnten Versuchsbedingungen die anodische Erschlaffung bei einem Widerstand von 100 Ctm. Drahtlänge selten ausbleibt.

Beschränkt man sich auf die Anwendung der schwächsten, eben wirksamen Ströme, so bleibt die Erschlaffung immer nur auf die nächste Umgebung der Eintrittsstelle beschränkt. Sie tritt dann bei der Schliessung hervor und verschwindet allmälig wieder, auch wenn der Reizstrom geschlossen bleibt. In anderen Fällen verbreitet sie sich je nach der Richtung des Stromes nur über die eine oder andere Hälfte des Ventrikels. Bei Anwendung nicht zu starker Ströme und hoher Reizbarkeit des Präparates ist die Fortpflanzung der anodischen Erschlaffungswelle über den ganzen Ventrikel unabhängig davon, ob der Strom unmittelbar nach Beginn der Wirkung geöffnet wird oder ob derselbe weiterhin geschlossen bleibt. Letzterenfalls dauern jedoch rhythmische Contractionen

während der ganzen Schliessungsdauer fort, wobei zu bemerken ist, dass fortdauernd bei jeder neuen Diastole die Erschlaffung stets an der Anode beginnt und peristaltisch von hier aus fortschreitet. Man kann daher bei blosser Betrachtung eines unter dem Einflusse des constanten Stromes pulsirenden Schneckenherzens sofort mit grösster Sicherheit die Stromesrichtung bestimmen.

Da die systolische Zusammenziehung des Ventrikels viel rascher erfolgt, so lässt sich durch blosse Inspection nicht mit Sicherheit ermitteln, ob sie unter den in Rede stehenden Verhältnissen auch peristaltisch (von der Kathode ausgehend) erfolgt oder nicht.

Wie schon erwähnt, ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der anodischen Erschlaffungswelle eine so geringe, dass ihr Fortschreiten sich mit dem Auge stets bequem verfolgen lässt. Im übrigen erscheint dieselbe jedoch ausserordentlich wechselnd. Während im einen Falle die Welle mehrere Secunden braucht, um die kurze zur Verfügung stehende Strecke von durchschnittlich 5—7 Mm. zu durchlaufen, genügen anderenfalls Bruchtheile einer Secunde. Es hängt dies hauptsächlich wieder von dem Grade des jeweiligen Tonus ab, und man kann sagen, dass je stärker dieser ausgeprägt ist, desto langsamer auch die Erschlaffung sich vom Orte ihrer Entstehung aus verbreitet. Wenn man wiederholt bei unveränderter Stromesrichtung reizt oder den Strom dauernd geschlossen lässt, so bemerkt man leicht, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der anodischen Welle mit der Zeit bis zu einem gewissen, übrigens bald erreichten Grenzwerth zunimmt, bei darauffolgender Wendung des Stromes dagegen wieder vermindert erscheint.

Ein analoges Verhalten zeigt im allgemeinen auch das Stadium der latenten Reizung. Die Erschlaffung an der Anode beginnt, wie man ohne weiteres erkennt, niemals genau im Momente der Schliessung des Stromes, sondern immer merklich und oft bedeutend verspätet, so dass ein Latenzstadium von 1 Secunde Dauer und mehr keineswegs zu den seltenen Fällen gehört. Oft ist es allerdings viel kürzer, kaum jemals aber so kurz, dass man es nicht noch unmittelbar mit dem Auge wahrnehmen könnte.

Eingriff bedingte Schädigung der Muskelsubstanz in gleichem Sinne wirkt.

Besonders bemerkenswerth ist bei dieser Versuchsweise die Erschlaffung, welche an Stelle der wirksamen Kathode unmittelbar nach Öffnung des Stromes erfolgt, indem sie sich in keiner Weise von der anodischen Schliessungserschlaffung unterscheidet und, wie die noch mitzutheilenden Thatsachen zeigen werden auch wahrscheinlich als ein gleichwerthiger Vorgang aufzufassen sein dürfte.

Die zeitliche Reihenfolge der Erscheinungen ist immer die, dass bei der Schliessung zunächst die kathodische Hälfte sich contrahirt, worauf erst die anodische erschlafft. Ebenso folgt bei der Öffnung der anodischen Öffnungserregung, die sich durch eine rasche, stärkere Zusammenziehung des betreffenden Ventrikelabschnittes verräth, die kathodische Öffnungswirkung, die ganz wie die anodische Schliessungswirkung zu einer Erschlaffung vorher contrahirter Theile führt. Es stimmen demnach hinsichtlich des Erfolges die kathodische Schliessungs- und die anodische Öffnungserregung einerseits und die anodische Schliessungs- und kathodische Öffnungswirkung andererseits miteinander überein.

Es ist für die Deutung der kathodischen Öffnungserschlaffung wichtig, dass dieselbe mit voller Deutlichkeit nur an frischen gut erregbaren Präparaten und auch dann nur bei wenigen, aufeinanderfolgenden Schliessungen, beziehungsweise Öffnungen beobachtet wird. Je länger man den Strom geschlossen lässt oder je öfter man die Reizungen bei gleicher Richtung und Stärke des Stromes wiederholt, desto schwächer und undeutlicher wird die Erscheinung, die schliesslich durch kein Mittel wieder hervorzurufen ist.

In besonders überzeugender Weise habe ich dies in einigen Fällen beobachten können, wo in Folge doppelter Unterbindung der Herzspitze und dadurch bewirkter sehr starker Contraction der Umgebung bei der darauffolgenden Durchströmung immer nur einseitige Wirkungen auftraten. Der volle absteigend gerichtete Strom eines Daniell'schen Elementes bewirkte hier bei der Schliessung an dem im übrigen ganz unversehrten, nicht gequetschten Ventrikel an der Basis eine starke (anodische) Erschlaffung, die sich nur über einen kleinen Theil desselben verbreitete. Die Schliessung des aufsteigend gerichteten Stromes

blieb wirkungslos oder hatte höchstens eine schwache Contraction des vorher erschlafften oberen Abschnittes zur Folge, dagegen trat jetzt nach etwa vier Secunden langer Schliessungsdauer die kathodische Öffnungserschlaffung an der Basis mit grösster Deutlichkeit hervor, jedoch immer nur in wenigen unmittelbar aufeinanderfolgenden Versuchen. Auf das Vorhandensein dieser Erscheinung einmal aufmerksam geworden, ist es mir in der Folge wiederholt gelungen, dieselbe auch an ganz normalen Herzen unmittelbar nach dem Aufbinden auf die Canüle, und nach Entwicklung der tonischen Contraction zu beobachten. Zwei Bedingungen sind hier wesentlich: Erstens muss das Präparat frisch und möglichst erregbar sein und zweitens darf man sich nicht zu schwacher Ströme bedienen und dieselben nicht zu kurz geschlossen lassen. Im allgemeinen fand ich den vollen Strom eines Daniell'schen Elementes bei 2—3 Secunden Schliessungsdauer genügend. Nachdem die erste anodische Erschlaffungswelle abgelaufen ist, zieht sich der Ventrikel systolisch zusammen, es beginnt neuerdings eine peristaltische Diastole u. s. w. Wenn man kurz nach Beginn der zweiten oder dritten Systole den Strom öffnet, so sieht man häufig eine an der Kathodenseite beginnende diastolische Welle über den ganzen Ventrikel ablaufen, also in einer der früheren gerade entgegengesetzten Richtung. Bisweilen lässt sich dieselbe Erscheinung auch noch bei der zweiten und selbst dritten, der Öffnung des Stromes folgenden Diastole wahrnehmen, worauf jedoch, wenn die Pulsationen überhaupt fortdauern, an Stelle der peristaltischen Erschlaffung normale, wie es scheint an allen Punkten des Ventrikels gleichzeitig beginnende Diastole folgen. Aus der eben angeführten Thatsache scheint hervorzugehen, dass die kathodische Öffnungserschlaffung sich ganz ebenso wie die anodische Schliessungserschlaffung vom Orte ihrer ersten Entstehung durch Leitung von Zelle zu Zelle fortzupflanzen vermag, wodurch, wie mir scheint, bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Umstandes, dass die erstere Erscheinung überhaupt nur unter den allergünstigsten Verhältnissen deutlich hervortritt, die naheliegende Auffassung derselben als einer durch die kathodische Dauererregung bedingten Ermüdungserscheinung ausgeschlossen erscheint. Es spricht vielmehr alles dafür, dass man es hier mit einer eigenthümlichen,

der anodischen Schliessungswirkung gleichwerthigen Reaction des tonisch contrahirten Herzmuskels zu thun hat.

Da es ein allgemein giltiges Gesetz zu sein scheint, dass glatte Muskelfasern viel unempfindlicher gegen sehr kurz dauernde Ströme sind, als quergestreifte, so liess sich von vornherein erwarten, dass einzelne Inductionsschläge, wenn überhaupt, doch erst bei verhältnissmässig grosser Intensität auf das Schneckenherz wirken würden. Foster scheint dieselben gar nicht angewendet zu haben, wenigstens spricht er nur von den Erfolgen tetanisirender Reizung. Ich selbst habe mich vergeblich bemüht, an den erregbarsten Präparaten auch nur eine Spur jener Wirkungen mit starken Öffnungs- und Schliessungsschlägen zu erzielen, die so leicht und sicher durch schwache Kettenströme hervorgebracht werden. Alles was ich erreichte, bestand in einer sich nicht mehr lösenden, starreähnlichen Contraction des Ventrikels nach Einwirkung übermässig starker Inductionsströme, vergleichbar jener vielbesprochenen „idiomusculären“ Zusammenziehung des Froschherzens nach starker tetanisirender Reizung.

Die Erscheinungen, welche man bei Anwendung tetanisirender Inductionsströme an dem Schneckenherzen beobachtet, wurden bereits von Foster (l. c.) in vollkommen zutreffender Weise geschildert und habe ich seinen diessbezüglichen Angaben nichts wesentliches hinzuzufügen. Bemerken möchte ich nur, dass alle die betreffenden Versuche viel überzeugender ausfallen, wenn man sich auch hier statt eines einfach herausgeschnittenen Herzens eines mit einer Canüle in der früher beschriebenen Weise verbundenen Ventrikels bedient, da in diesem Falle der sich bald entwickelnde, tonische Contractionszustand die so auffallende, erschlaffende Wirkung tetanisirender Reizung viel deutlicher hervortreten lässt. Ob man nun nach Foster's Vorgang die einander sehr genäherten Elektroden an irgend eine Stelle der Aussenfläche des zusammengezogenen Ventrikels anlegt oder besser noch das Ende des einen Poldrahtes in die Canüle einführt, während der andere in derselben Weise, wie früher die eine unpolarisirbare Elektrode, in die Flüssigkeit taucht, mit welcher das Herz durch das Fadenende der unteren Ligatur in leitender Verbindung steht, immer sieht man bei genügender Stärke der tetanisirenden Ströme den Ventrikel sofort erschlaffen, wobei er

sich prall mit Blut füllt. Dauert die Reizung in gleicher Stärke fort, so beginnen nach einiger Zeit regelmässige, allmälig beschleunigte Pulsationen, gerade wie während anhaltender Vagusreizung bei einem Wirbelthier. Reizt man jetzt nochmals bei unverändertem Rollenabstand, so beobachtet man in der Regel keine hemmende Wirkung, auch die Schlagfrequenz bleibt unverändert. Verstärkung der Stromesintensität oder längere Ruhe macht die Reizung jedoch wieder erfolgreich. Wenn man in den Kreis der secundären Spirale einen Schlüssel einschaltet, so lässt sich durch wiederholtes Öffnen je eine entsprechend kurze Erschlaffung des Ventrikels oft hintereinander bewirken, worauf derselbe immer wieder in den tonischen Zustand zurückkehrt. Diese Art der Erschlaffung unterscheidet sich nun sehr wesentlich von der unter dem Einfluss eines Kettenstromes zu beobachtenden, indem sie niemals wie diese peristaltisch verläuft, sondern immer gleichzeitig an allen Punkten beginnt, es sei denn, dass in Folge vorausgegangener mechanischer Einwirkungen stärkere locale Contractionen bestehen, die sich überhaupt nicht oder doch schwerer lösen als die tonische Contraction der übrigen Theile des Herzens.

Bezüglich der Erscheinungen, welche man beobachtet, wenn das regelmässig pulsirende Herz mit Wechselströmen gereizt wird, kann ich einfach auf die diessbezüglichen Angaben Foster's verweisen (l. c. p. 193 ff.).

Die Stromstärke, bei welcher die geschilderten Hemmungserscheinungen eintreten, ist eine verhältnissmässig sehr bedeutende, was mit Rücksicht darauf bemerkenswerth ist, dass, wie früher gezeigt wurde, bereits sehr schwache Kettenströme sich günstigenfalls wirksam erweisen. Kaum jemals habe ich bei Benützung eines du Bois'schen Schlittenapparates, dessen secundäre Spirale 5000 Windungen besitzt, mit einem Daniell'schen Element im primären Kreise Wirkungen erzielt, wenn der Rollenabstand mehr als 11 Ctm. betrug. In der Regel mussten die Rollen bis zur Berührung aneinander genähert werden. Da es mir nach den oben mitgetheilten Erfahrungen nicht zweifelhaft schien, dass auch die Wirkung inducirter Ströme eine polare ist, so habe ich insbesondere viel Mühe darauf verwendet, zu erfahren, von welchem Pole unter diesen Umständen die hemmende Wirkung ausgeht.

Wegen der völligen Unwirksamkeit einzelner Inductionsschläge, lässt sich eine Entscheidung dieser Frage selbstverständlich nur von Reizversuchen erwarten, bei welchen zum Tetanisiren gleichgerichtete Öffnungs- oder Schliessungsströme verwendet werden. Die Zuführung derselben wurde bei meinen Versuchen stets durch unpolarisirbare Elektroden vermittelt, welche mit dem Ventrikel in der oben beschriebenen Weise verbunden waren. Das Resultat zahlreicher derartiger Versuche lässt sich kurz dahin zusammenfassen, dass die Erschlaffung des vorher contrahirten Ventrikels auch in diesem Falle niemals eine peristaltische, sondern, so viel man sehen konnte, stets eine an allen Punkten gleichzeitig beginnende war. Ebensowenig ist es mir gelungen an Herzen, welche in der früher beschriebenen Weise in der Mitte gequetscht worden waren, während der Durchströmung eine frühere oder ausschliessliche Erschlaffung der einen oder anderen Hälfte nachzuweisen, immer sah ich beide Abtheilungen gleichzeitig sich erweitern, so dass auch in diesem Falle das Vorhandensein einer Polwirkung zweifelhaft scheinen könnte. Ich halte es jedoch aus allgemeinen Gründen und besonders mit Rücksicht auf die bereits erörterten charakteristischen Wirkungen des Kettenstromes für wahrscheinlich, dass demungeachtet die Hemmung durch inducirte Ströme eine polare Wirkung derselben darstellt. Offenbar würde eine anodische Erschlaffung unter den in Rede stehenden Bedingungen lediglich als Summationswirkung der einzelnen rasch aufeinanderfolgenden Inductionsströme aufzufassen sein. Es ist aber klar, dass wenn auch an der Kathode gleichartige Öffnungswirkungen ausgelöst werden (wie es bei Anwendung von Kettenströmen thatsächlich der Fall ist) durch Summation derselben eine Erschlaffung auch an dieser Stelle des gereizten Ventrikels die Folge sein wird, so dass, wie leicht ersichtlich, der Endeffect in einer scheinbar gleichzeitigen, totalen Erschlaffung desselben bestehen muss, wie man es thatsächlich immer beobachtet. Man könnte bestenfalls erwarten, die Wirkung an dem einen Pole etwas früher, d. h. bei geringerem Rollenabstand eintreten zu sehen als an dem anderen. Es schienen mir auch in der That in einigen Fällen Andeutungen eines solchen Verhaltens vorhanden zu sein, indessen möchte ich hierauf kein allzu grosses Gewicht legen, da es schwer ist, kleine

Unterschiede in dieser Beziehung mit genügender Sicherheit wahrzunehmen.

5. Über den Einfluss des constanten Stromes auf das Froschherz.

Im Jahre 1850 beschrieb Schiff[1] zuerst einen eigenthümlichen Erschlaffungszustand des systolisch contrahirten Herzmuskels vom Frosch, welcher unter Umständen als Folgeerscheinung mechanischer oder electrischer Reizung beobachtet wird. Es lässt sich nicht verkennen, dass zwischen dieser „Reizerschlaffung" des Froschherzens und den oben beschriebenen Folgeerscheinungen der electrischen Reizung des tonisch contrahirten Schneckenherzens eine auffallende Ähnlichkeit besteht. Hier wie dort sehen wir, dass die contrahirte Muskelwand unter gewissen Umständen auf künstliche Reize mit einer Erschlaffung reagirt, die entweder örtlich beschränkt bleibt oder sich in Form einer peristaltisch fortschreitenden Welle über den ganzen Ventrikel verbreitet, welche letztere Thatsache bereits Schiff mit aller Bestimmtheit auch für das Froschherz behauptete (l. c.).

Hinsichtlich der Deutung der in der Folge viel besprochenen „localen Diastole" des Froschherzens gehen die Ansichten der verschiedenen Beobachter weit auseinander. Während Schiff, der Entdecker dieser Erscheinung, dieselbe auch neuerdings[2] wieder als ein Ermüdungsphänomen auffasst, erklärt sie Rossbach[3] als Folge einer eigenthümlichen Zustandsänderung des Muskels, welche durchaus verschieden ist von derjenigen, die der normalen Diastole zu Grunde liegt. Er betrachtet ferner die „Muskelreizerschlaffung," wie er die auf mechanische Reizung des Ventrikels folgende diastolische Erschlaffung nennt, und die bei Vagusreizung erfolgende „Nervenreizerschlaffung" als „physiologisch gleichartige," durch dieselben Vorgänge in den Muskelfasern bedingte Processe, „die sich beide wesentlich unterscheiden von dem Zustande der Muskelfaser während der gewöhnlichen, diastolischen Erschlaffung." Aubert[4], welcher unabhängig von

---

1 Archiv. f. physiolog. Heilkunde IX. Jahrg. p. 251. f.

2 Pflüger's Arch. XXVIII.

3 Pflüger's Arch. XXVII. p. 197. ff.

4 Pflüger's Arch. XXIV. p. 358.

Schiff und Rossbach die Erscheinung abermals entdeckte, sucht sie durch die Annahme einer grösseren Erregbarkeit des systolisch contrahirten Herzmuskels unter der Voraussetzung zu erklären, dass die Erschlaffung ein echtes Reizphänomen besonderer Art darstellt. Luchsinger[1] endlich sucht die Ansicht zu begründen, dass die „locale Diastole nur der Ausdruck einer an verschiedenen Stellen des Herzens verschieden rasch ablaufenden Zuckung, also nur Folge einer an verschiedenen Stellen des Herzens verschieden hohen Erregbarkeit ist.“ Bei der grossen Bedeutung, welche, wie schon Rossbach bemerkt, das in Rede stehende Phänomen für die Theorie der Vaguswirkung besitzen dürfte, hielt ich eine erneute Untersuchung, besonders mit Rücksicht auf die an dem Schneckenherzen gewonnenen Resultate, für wünschenswerth, umsomehr als sich von vornherein erwarten liess, das principielle Unterschiede im physiologischen Verhalten beider Objecte nicht vorhanden sein dürften. Es ist aber ohne weiteres klar, dass im Falle der Übereinstimmung in dem Verhalten gegen den constanten electrischen Strom die bisherigen Anschauungen über die Bedeutung der „localen Diastole“ in wesentlichen Punkten modificirt werden müssen.

Wenn man mit möglichster Vermeidung von Blutverlusten das Herz eines schwach mit Curare vergifteten Frosches[2] blosslegt und nach der „unipolaren“ Methode elektrisch reizt, indem man die eine unpolarisirbare Pinsel-Elektrode an einer indifferenten Stelle (etwa der Kehlhaut) ansetzt, während die andere fein zugespitzt einen beliebigen Punkt des Ventrikels derart berührt, dass ohne starken Druck die leitende Verbindung auch während der Bewegungen des Herzens in keinem Augenblicke aufgehoben ist, so beobachtet man je nach Stärke und Richtung des Stromes, und je nach dem Zustande, in welchem sich das Herzmuskel im Momente der Reizung befindet, verschiedene Wirkungen.

Tritt der Strom durch die den Ventrikel berührende Elektrode ein und schliesst man im Beginne der

---

[1] Pflüger's Arch. Bd. XXVIII. p. 556. f.

[2] Wie schon Aubert hervorhebt, ist es zweckmässig sich bei diesen Versuchen des pigmentarmen Herzens von *Rana temporaria* zu bedienen. Eben so geeignet fand ich, wie vorher schon Luchsinger, Kröten.

Systole, so sieht man als erste Wirkung schwacher Reizung (1 Daniell, Rheochordwiderstand 20 und mehr) regelmässig eine Erschlaffung in der nächsten Umgebung der Berührungsstelle eintreten, die sich bei jeder neuen systolischen Zusammenziehung wiederholt, so lange der Strom geschlossen bleibt. Mit wachsender Stromesintensität nimmt auch der Grad und die Ausdehnung der anfangs streng localen, sich dann nur als kleiner rother Fleck von kaum 1 Mm. Durchmesser von der contrahirten, blassen Umgebung abhebenden Erschlaffung zu. Dieselbe tritt immer deutlicher als bluterfüllte Ausbauchung der Muskelwand des Ventrikels hervor und breitet sich nun verhältnissmässig rasch nach allen Seiten über den Umfang der primär erschlafften Stelle aus. Es bedarf ziemlich starker Ströme, wenn es in Folge der Reizung zu einem vollkommenen, und dann oft mehrere Secunden andauernden, diastolischen Stillstand des ganzen Ventrikels kommen soll. Wie Schiff[1] mit Rücksicht auf die ganz analogen Folgeerscheinungen localer mechanischer Reizung richtig beschreibt, scheint es bisweilen, als bliebe die diastolische Erschlaffung, wenn sie erst eine gewisse Ausdehnung erreicht hat „einen kurzen Moment" stehen, um sich dann langsamer über die ganze Kammer zu verbreiten. Ebenso deutlich habe ich jedoch in anderen Fällen, besonders an sehr stark abgekühlten, langsam schlagenden Herzen, deren man sich überhaupt mit Vortheil bei allen diesen Versuchen bedient, beobachten können, dass von der primär erschlafften Stelle an der Anode die diastolische Welle sich mit gleichmässiger Geschwindigkeit über den ganzen Ventrikel ausbreitet. Da sich die normale Diastole unmittelbar anschliesst, so ist es allerdings viel schwerer, als an dem tonisch contrahirten Schneckenherzen, sich über diesen Punkt die nöthige Klarheit zu verschaffen. Gleichwohl möchte ich auf Grund einiger sicheren Wahrnehmungen, und insbesondere auch mit Rücksicht auf die ganz unzweideutigen Beobachtungen an dem letztgenannten Object, der Meinung Schiff's,[2] dass die einer localen mechanischen Reizung des systolischen Ventrikels folgende Diastole an der gereizten Stelle

[1] Arch. f. physiolog. Heilkunde 1850. p. 251.
[2] l. c. und Pflüger's Arch. XXVIII. p. 207.

beginnt und sich von hier aus gerade so fortpflanzt, wie man sich die Fortpflanzung der Systole bei Reizung des diastolischen Herzens denken muss, auch hinsichtlich der anodischen Erschlaffung des systolischen Froschherzens im Falle stärkerer Reizung beistimmen.

Genau dieselben Erscheinungen, welche man an dem contrahirten Ventrikel bei Schliessung eines Kettenstromes an Stelle der Anode beobachtet, treten unmittelbar nach Öffnung des Kreises an Stelle der Kathode hervor.

Wenn man demnach bei derselben Versuchsanordnung wie vorher den Strom wendet, ohne die Elektroden zu verschieben, so sieht man bei genügender Intensität und Schliessungsdauer nach der Öffnung im Momente der stärksten systolischen Zusammenziehung die vorher anodische, nunmehr kathodische Stelle des Ventrikels immer zuerst erschlaffen. Wieder wächst die Ausbreitung der ursprünglich localen Diastole mit der Stromstärke, aber es kommt hier noch ein zweites, nicht minder wichtiges Moment in Betracht, nämlich die Schliessungsdauer des Reizstromes. Bis zu einem gewissen Grade kann man daher die Wirkung stärkerer Ströme durch ein längeres Geschlossenbleiben schwächerer ersetzen. Immer jedoch bedarf es von vorneherein stärkerer Ströme, um die kathodische Öffnungserschlaffung mit gleicher Deutlichkeit hervortreten zu sehen, wie die anodische Schliessungserschlaffung, ein Verhalten, welches, wie gezeigt wurde, auch für die analogen Erscheinungen am Schneckenherzen gilt. Gerade wie die anodische Schliessungserschlaffung breitet sich unter geeigneten Umständen auch die kathodische Öffnungserschlaffung über den ganzen Ventrikel aus und führt dann zu einem kurzdauernden diastolischen Stillstand desselben. Ich möchte denselben für ein Analogon des von Rossbach[1] beobachteten diastolischen Stillstandes nach starker mechanischer Reizung des Ventrikels halten, den ich übrigens an sehr reizbaren Präparaten wiederholt schon bei leichter Berührung eintreten sah. Es scheint dies zugleich ein Beweis dafür zu sein, dass von einer Deutung der betreffenden Erscheinungen als Folge einer Ermüdung

---

[1] Pflüger's Arch. XXV p. 182.

nicht wohl die Rede sein kann, die ja doch bei localer Reizung auch nur eine örtlich beschränkte sein könnte. Gegen eine solche Auffassung spricht übrigens auch der Umstand, dass gerade wie bei dem Schneckenherzen die Erschlaffung an der Kathode nach öfterer Wiederholung des Versuches bei gleicher Stromstärke mehr und mehr an Deutlichkeit verliert und schliesslich ungeachtet der guten Wirksamkeit der Anode gänzlich ausbleibt. Ebensowenig gelingt es durch Verlängerung der Schliessungsdauer eines eben wirksamen Stromes die Erscheinung über eine gewisse, bald erreichte Grenze hinaus zu verstärken, wie es doch wohl der Fall sein müsste, wenn es sich dabei um eine Folge localer Ermüdung handelte. Auf die Thatsache, dass auch die kathodische Öffnungswirkung sich vom Orte ihrer Entstehung aus fortzupflanzen vermag, möchte ich um so grösseres Gewicht legen, als Aubert im Gegensatz zu Schiff der Meinung ist, dass locale mechanische Reizung des systolisch contrahirten Herzmuskels, deren Effect wohl als Analogon der kathodischen Öffnungswirkung aufzufassen sein dürfte, immer nur eine locale Erschlaffung bedingt, während Berührung des erschlafften Herzmuskels immer eine totale Contraction zur Folge hat, woraus zu schliessen wäre „dass die systolisch contrahirte Herzmuskulatur nicht leitet.“ Es ist jedoch zu bemerken, dass es sich bei Erschlaffung und Contraction des Herzmuskels um zwei gegensätzliche Processe handelt, welche demgemäss nicht nur hinsichtlich ihrer Entstehungsbedingungen, sondern auch bezüglich der Momente, von welchen die Fortleitung des einen oder anderen Processes vom Orte seiner Auslösung abhängt, voraussichtlich verschieden sein dürften. Wenn es daher auch im allgemeinen als zutreffend bezeichnet werden kann, dass nach schwacher mechanischer Reizung des systolischen Ventrikels nur eine locale Diastole erfolgt, so beweist dies doch keineswegs die Unmöglichkeit einer Weiterleitung des Erschlaffungszustandes überhaupt. Übrigens kann man auch bei schwacher mechanischer Reizung mittelst einer stumpfen Spitze kaum jemals von einer wirklich „localen“ Erschlaffung im strengen Sinne sprechen, da sich dieselbe fast stets über den Umfang der Spitze mehr oder weniger hinauserstreckt, was an und für sich schon für eine Weiterleitung spricht. Eine solche tritt nun aber immer nicht nur bei stärkerer mechanicher Reizung beliebiger

Punkte des Ventrikels, sondern auch als Folge elektrischer Erregung mit dem Kettenstrom ein, in welch' letzterem Falle die Diastole entweder von der Anode (bei Schliessung des Stromes) oder von der Kathode (bei der Öffnung) ausgeht. Es sei hier auch noch an die leicht zu bestätigende Beobachtung von Rossbach[1] erinnert, dass bei dauernder Klemmung eines kleinen Stückchens der Ventrikelwand, die Diastole während längerer Zeit eine peristaltische, von der geklemmten Stelle ausgehende ist, so dass „wie am Darm die Contractionswelle stetig in schmaler Linie durch das uncontrahirte Gewebe sich fortpflanzt, hier umgekehrt eine Welle erschlafften Gewebes durch das contrahirte Ventrikelgewebe hindurchläuft." Es ist diese Thatsache offenbar ganz analog der von mir früher beschriebenen Erscheinung, dass unter Umständen bei localer mechanischer (oder auch thermischer?) Reizung des tonisch contrahirten Schneckenherzens die darauffolgende Erschlaffung sich langsam über den ganzen Ventrikel verbreitet.

Man kann die vorstehend geschilderten polaren Erschlaffungserscheinungen an dem systolisch contrahirten Ventrikel des Froschherzens in sehr zierlicher und instructiver Weise zur Anschauung bringen, wenn man beide, fein zugespitzte Faden- oder Pinselelektroden an zwei von einander möglichst entfernten Punkten der Ventrikeloberfläche in Längs- oder Querrichtung aufsetzt und einen nicht zu schwachen Strom während einiger Zeit geschlossen lässt. Während der Schliessungsdauer entsteht dann bei jeder neuen, systolischen Zusammenziehung eine locale Diastole an der Anode. Nach Öffnung des Stromes kehrt sich dagegen das Verhältniss um, indem jetzt während zwei oder selbst mehrerer aufeinanderfolgender Systolen die kathodische Stelle zuerst erschlafft.

Ich habe mir viel Mühe gegeben, den Ventrikel des Froschherzens künstlich in einen dem „Tonus" des Schneckenherzens vergleichbaren, länger anhaltenden Contractionszustand zu versetzen, ohne dass mir dies jedoch bis jetzt in einer befriedigenden Weise gelungen wäre. Weder rasche Drucksteigerung, noch auch die nach Aubert's und insbesondere Gaskell's Erfahrungen

---

[1] l. c. p. 185. These. 10.

unter Umständen wirksamen chemischen Reizmittel lieferten brauchbare Resultate. Ich muss daher vorerst darauf verzichten, die Wirkungen des Kettenstromes auf das Froschherz unter diesen Umständen zu prüfen. Voraussichtlich dürften die Ergebnisse von den während der systolischen Contraction beobachteten Wirkungen nicht wesentlich abweichen.

Es erübrigt noch, die im gewöhnlichen Sinne erregenden Wirkungen des Kettenstromes, welche sich natürlich nur während der Diastole verrathen können, zu besprechen. Ich kann mich hier kurz fassen, da die wesentlichsten Thatsachen bereits bekannt und zum Theil sehr eingehend untersucht sind. Schon Eckhardt zeigte, dass es gelingt, durch den Kettenstrom die ganglienfreie „Herzspitze“ wieder zu regelmässigen rhythmischen Pulsationen anzuregen und ebenso ist es bekannt, dass die einmalige kurzdauernde Schliessung eines genügend starken Stromes eine einmalige, maximale Zusammenziehung des ruhenden, diastolisch erschlafften Ventrikels auslöst. Es lässt sich leicht zeigen, dass dieselbe von der Kathode ausgeht, sei es nun, dass man sich wieder der unipolaren Methode bedient oder wie Engelmann [1] den abgeschnittenen Ventrikel der Länge nach durchströmt.

Wendet man die erstere Methode an, so erscheint es am zweckmässigsten, den in Diastole ruhenden, blutgefüllten Ventrikel eines nach dem Bernstein'schen Verfahren [2] geklemmten Herzens zu reizen. Bedient man sich nicht übermässig starker Ströme, so erfolgt stets nur eine Contraction bei Berührung mit der Kathode, niemals im umgekehrten Falle. Bisweilen konnte ich an langsam schlagenden Herzen unmittelbar sehen, dass bei dieser Art der Reizung die systolische Contraction deutlich peristaltisch (an der Kathode beginnend) verlief, eine Thatsache, welche bereits Schiff [3] constatirte, indem er den Satz aufstellte, dass die Contraction der Kammer nie an allen Theilen gleichzeitig erfolgt, sondern nach Einwirkung äusserer Reize „stets peristaltisch von der Reizstelle ausgeht.“

---

[1] Pflüger's Arch. Bd. XXVI. p. 102. ff.

[2] Centralbl. f. d. med. Wiss. 1876. p. 385.

[3] Arch. f. physiolog. Heilkunde 1850. p. 250 und Pflüger's Arch. XXVIII. p. 206. f.

Die in den beiden letzten Abschnitten erörterten Thatsachen sind, wie mir scheint, geeignet, unsere Kenntnisse über die Wirkungsweise des elektrischen Stromes auf irritable Substanzen in einigen Punkten zu fördern. Da in der grossen Mehrzahl der Fälle, wo es sich um elektrische Reizung contractiler Gebilde handelt, die Elemente der letzteren sich zur Zeit der Reizung in einem Zustand relativer Ruhe befinden, so ist es erklärlich, dass fast sämmtliche vorliegende Untersuchungen sich nur auf jene Thätigkeitsäusserungen derselben beziehen, welche man in der Regel kurzweg und allein als „Reizerscheinungen" zu bezeichnen pflegt.

Eine Thatsache ist allerdings seit lange bekannt, die manche Analogie mit den oben beschriebenen Hemmungserscheinungen besitzt, ich meine das Schwinden des Ritter'schen Tetanus und der Öffnungsdauercontraction quergestreifter Muskel unter dem Einflusse des constanten Stromes. Indessen handelt es sich hier um das Schwinden eines durch den Strom selbst erzeugten Contractionszustandes und ausserdem bleibt die Erscheinung immer streng local und gestattet schon aus diesem Grunde keine directe Vergleichung.

Nun zeigt aber die Untersuchung geeigneter Objecte, dass der elektrische Strom, welcher bei directer Einwirkung den erschlafften, ruhenden Muskel nach bekannten Gesetzen zur Contraction anregt, eine schon bestehende Erregung in nicht minder gesetzmässiger Weise zu hemmen und so eine Erschlaffung des contrahirten Muskels herbeizuführen vermag. Ja man kann sogar nachweisen, dass sich diese „Hemmung" im Herzmuskel in ganz ähnlicher Weise wie die „Erregung" vom Orte ihrer Entstehung aus fortpflanzt. Die mitgetheilten Thatsachen berechtigen ferner zu der Annahme, dass diese Hemmungswirkungen des Stromes ebenso wie die erregenden Processe reine Polwirkungen darstellen, und wie man von diesen zwei, hinsichtlich des Ortes und der Zeit der Auslösung verschiedene, wenn auch im übrigen gleichwerthige „Erregungen" als Schliessungs- und Öffnungserregung unterscheidet, so erscheint es gerechtfertigt, in den erörterten Fällen auch von zwei in gleicher Weise verschiedenen „Hemmungen" einer Schliessungs- und Öffnungshemmung oder besser einer anodischen und kathodischen Hemmung zu sprechen, da jene an der Eintrittsstelle des Stromes, diese dagegen an der Austrittsstelle entsteht.

Es würde als verfrüht bezeichnet werden müssen, Betrachtungen über die den Hemmungsvorgängen möglicherweise zu Grunde liegenden Veränderungen der contractilen Substanz anzustellen. Bevor daran gedacht werden kann, bleibt vor allem zu untersuchen, inwieweit und ob überhaupt das an dem Herzmuskel beobachtete Verhalten auch an anderen glatten und insbesondere quergestreiften Muskeln nachgewiesen werden kann. Soviel aber lässt sich wohl schon auf Grund der vorliegenden Thatsachen behaupten, dass keiner der bisher aufgestellten Erklärungsversuche der diastolischen „Reizerschlaffung" als zutreffend bezeichnet werden kann. Wenn man zugibt, dass die anodische und kathodische Hemmung im Grunde gleichartigen Processen ihre Entstehung verdankte, so kann es sich weder um ein Ermüdungsphänomen im Sinne Schiff's oder Luchsinger's handeln, noch auch würde die Auffassung Rossbach's oder Aubert's zutreffend sein.
